

广西西林地区金矿土壤地球化学勘查与找矿方向

张洪求^{1,2}, 韦乐平^{1,2}, 雷少双^{1,2*}, 赵碧波^{1,2}, 陈振坤^{1,2}, 黄家彬^{1,2}, 唐琳洁^{1,2}, 陆少华³

1. 广西壮族自治区二七二地质队, 广西 南宁 530033;
2. 广西有色勘察设计院, 广西 南宁 530033;
3. 中国有色桂林矿产地质研究院有限公司, 广西 桂林 541004



摘要:广西西林地区大地构造位置处于扬子板块的桂西北拗陷西林—百色断褶皱带,是桂西—黔西南—滇东南北部(右江海槽)金锑多金属成矿带的重要组成部分。为查明该区成矿元素和矿化体分布特征,实现找矿突破,开展了1:1万土壤地球化学测量及找矿预测工作。利用Au、Ag、As和Sb等指示元素进行地球化学参数统计、相关性分析、元素空间分布特征分析、单元素异常分析和综合异常分析,圈定了GXB-1、GXB-2和GXB-3重点研究区的元素异常区,优选找矿靶区。研究表明:Au和Sb元素的浓集系数和变异系数值高,成矿潜力较大;Au、Sb和As元素相关系数较强,可作为指示元素组合;Au和Sb元素分布特征属于偏态分布,元素发生次生富集。综合成矿地质特征和元素异常特征,共圈定5处单元素异常,2处综合元素异常,并通过槽探工程验证,发现了3条金矿化体。根据研究区成矿地质条件,金矿化赋存于百逢组硅化碎屑岩与断裂接触带,NW向次级穿层断裂或层间破碎为今后主要找矿方向。

关键词:土壤地球化学测量;金矿床;单元素异常;综合异常;找矿靶区;广西西林

中图分类号:P618.51 文献标志码:A 文章编号:1005-2518(2025)05-0984-12 DOI:10.11872/j.issn.1005-2518.2025.05.040

引用格式:张洪求,韦乐平,雷少双,等.广西西林地区金矿土壤地球化学勘查与找矿方向[J].黄金科学技术,2025,33(5):984-995. ZHANG Hongqiu, WEI Leping, LEI Shaoshuang, et al. Soil Geochemical Prospecting of Gold Deposits in the Xilin Area, Guangxi[J]. Gold Science and Technology, 2025, 33(5): 984-995.

广西百色西林县地区属于桂西—黔西南—滇东南北部(右江海槽)金—锑—汞—银—锰—铝—锡—铜—钛—碲—稀土—煤—石油—水晶成矿区(Ⅲ-88)(邓军等,2023),处于世界上第二大卡林型金矿床集中区(Su et al, 2018; Li et al, 2023a)。该矿集区拥有200多个金锑矿床和矿化点(Pi et al, 2017),矿床矿石矿物组合为自然金—毒砂(含砷黄铁矿)—(辰砂—雄黄—雌黄—辉锑矿),具有低温金矿的特征成矿元素组合Au-As-Hg-Sb。以往研究表明,Au-As-Sb异常与断裂破碎带及硅化蚀变带在空间上吻合度高,异常强度与蚀变规模呈正相

关关系,这些元素异常能够有效指示矿化体的位置(Tan et al, 2015; Li et al, 2023b)。

土壤地球化学找矿方法是一种通过系统采集土壤样品,测定土壤中元素含量分布特征,研究成矿元素迁移富集规律及其与基岩矿化的成因联系,进而发现元素异常、解释评价异常和验证异常的找矿方法(罗先熔等,2007;张宇等,2022;刘永胜等,2023;尹志刚等,2023)。前人在桂西北地区运用次生晕地球化学测量方法开展了大量的金锑矿勘查及研究工作,发现了八渡和高龙等中—大型金矿床(Li et al, 2023b),取得了良好的找矿效果。同时,

收稿日期:2025-01-06;修订日期:2025-04-16

基金项目:广西地矿局前期找矿选点项目“广西西林县平佑山金锑矿地质找矿选点调查”(编号:桂地矿地[2023]17号)和广西有色勘察设计院2024年研发项目“广西重点成矿带矿床控矿因素、成矿机制及找矿方向研究”(编号:GXYS202404)联合资助

作者简介:张洪求(1996—),男,广西来宾人,硕士研究生,从事矿产地质调查及勘查研究工作。E-mail:2433673544@qq.com

*通信作者:雷少双(1989—),男,广西南宁人,高级工程师,从事矿产地质调查及勘查研究工作。E-mail:286930995@qq.com

© Editorial Department of Gold Science and Technology (CC BY-NC-ND)

Au、As、Sb 和 Ag 等元素化探异常区与矿体分布范围基本一致,进一步证实了该找矿方法的有效性。桂西北及周边地区的找矿工作经历了多个阶段,逐步深入推进。1970—2000年,广西多家地勘单位对桂北地区开展了1:20万区域地质调查、区域化探扫面和区域水文地质调查工作,基本厘定该区地层、构造和岩浆岩等关键地质信息,为后续找矿工作奠定了坚实基础。然而,该阶段针对常规的金、锑等金属矿产勘查找矿工作,仅限于局部地段,尚未形成系统找矿格局。1987—1990年,广西壮族自治区二七二地质队聚焦隆林和西林地区,完成了1:10万锑金矿地球化学特征及成矿预测工作,归纳总结了地球化学找矿标志,开展了金锑矿找矿预测工作。2008—2023年,广西壮族自治区二七二地质队先后对研究区附近的马家沟金锑矿开展了一系列勘探工作,研究了百逢组构造破碎带对金锑成矿的影响,指出硅化和黄(褐)铁矿化等围岩蚀变有利于金锑成矿,并通过1:1万土壤剖面测量工作圈定了Sb和As元素异常区,有力推动了该地区金锑矿找矿工作。

尽管前人圈定了研究区内1:10万Au、Sb化探异常范围,但并未开展Ⅲ级检查工作,异常元素空间分布规律尚需进一步研究,且由于投入工作量较少,也未对所圈定的低缓异常进行检查。另外,研究区有关断裂构造控矿方面的认识不足,缺乏综合性的金锑成矿对比研究分析工作,导致该区金锑矿找矿方向不明。鉴于此,采用1:1万土壤地球化学测量方法,重点解析广西百色西林县地区Au、As和Sb元素分布规律,以揭示其与构造—蚀变带的耦合关系。结合区域成矿地质特征和成矿规律,圈定了研究区元素异常区,并通过槽探工程对异常区进行验证,优选找矿靶区,为下一步矿产勘查提供依据。

1 区域地质背景

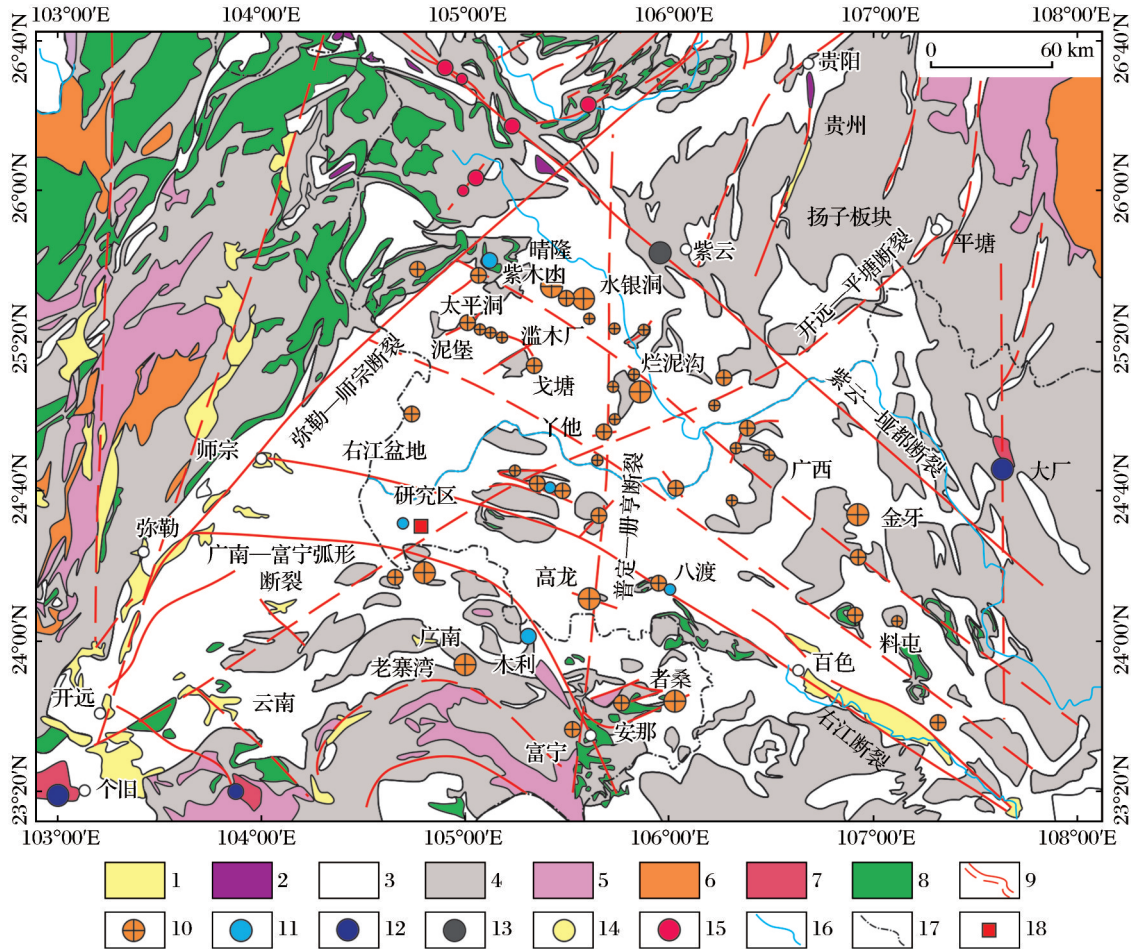
研究区大地构造位置处于扬子板块桂西北坳陷西林—百色断褶皱带,受古特提斯构造域与滨太平洋构造域复合作用的控制,二者共同影响着区内构造特征及演化历史(Duan et al, 2020; Wang et al, 2020)。区内地层以寒武系、泥盆系、石炭系、二叠系和三叠系为主,其中三叠系分布最广,岩性多为灰绿、深灰色页岩、泥岩、粉砂岩、细砂岩等碎屑岩

和碳酸盐岩(李欣航等,2021)。右江盆地构造格架由西部的NE向弥勒—师宗断裂和广南—富宁弧形断裂、东部的NW向紫云—娅都断裂、南部的NW向右江断裂、中部的SN向普定—册亨断裂和NE向开远—平塘断裂共同组成(刘寅等,2015; Lin et al, 2021; Zheng et al, 2022)(图1)。右江盆地的金锑矿床多赋存于三叠系碳酸盐岩、钙质碎屑岩和浊积岩中,具有明显的硅化、泥化、脱碳酸盐化和硫化作用等低温热液蚀变,以及黄铁矿、褐铁矿和毒砂等矿物组合(张长青等,2012; Su et al, 2018; 赵东杰等, 2020; 刘建中等, 2023),局部见辉绿岩脉与金锑矿化空间伴生,可能与金锑矿有成因联系(Peters et al, 2007; 钱建平, 2011)。

2 研究区地质背景

研究区位于NW向马蒿—西林复式向斜西端的马蒿一带,主要出露上三叠统石炮组(T_3s)深灰和灰绿色页岩,层间夹泥质灰岩和火山碎屑岩;中三叠统百逢组(T_3bf)土黄色泥岩、粉砂岩和砂岩等碎屑岩,夹有少量碳质泥岩和页岩,为研究区主要的金锑矿含矿层位,通常发育有硅化、黄铁矿化和毒砂化等蚀变;中三叠统兰木组(T_3l)灰绿色中层—中厚层状细砂岩夹页岩和砂质页岩(刘小虎等, 2024)。研究区褶皱发育有NW向马蒿—西林复式向斜和设里—金钟山构造带等,断裂划分为NE向断裂(2条, F_1 、 F_2)和NW向断裂(2条, F_3 、 F_4),属压性或压扭性断裂,分布于背斜的轴部或近轴部两侧,断裂面倾向或南或北,倾角较陡,断裂两侧岩石硅化和碎裂较强烈,硅化带最宽达数十米,与金锑异常空间吻合性显著,暗示潜在成矿可能性(图2)。

研究区位于广西西林县西南部,地处广西中低山向云贵高原的过渡地带,地势北高南低,海拔800~1400 m,地形起伏大、沟谷深切、溪流密集,植被覆盖率达85%以上。气候类型属中亚热带季风气候,年均气温为18.8℃,年最高气温为38℃,最低气温为-1℃,年均降水量约为940 mm。土壤类型以黄壤和水稻土为主:黄壤广泛分布于中低山区,因铁氧化物水化作用显著,呈酸性(pH值为4.5~5.5),表层有机质含量较高(1.5%~3.0%),是常绿阔叶林和针阔混交林主要分区;水稻土集中发育



1. 第四系; 2. 侏罗—白垩系; 3. 三叠系; 4. 泥盆—二叠系; 5. 寒武—志留系; 6. 元古宙; 7. 花岗岩; 8. 辉绿岩—玄武岩; 9. 断层; 10. 金矿; 11. 锡矿; 12. 锡矿; 13. 重晶石; 14. 汞铊矿; 15. 铅锌矿; 16. 河流; 17. 界线; 18. 研究区

图1 滇黔桂金三角区域地质图(修改自Su et al, 2018)

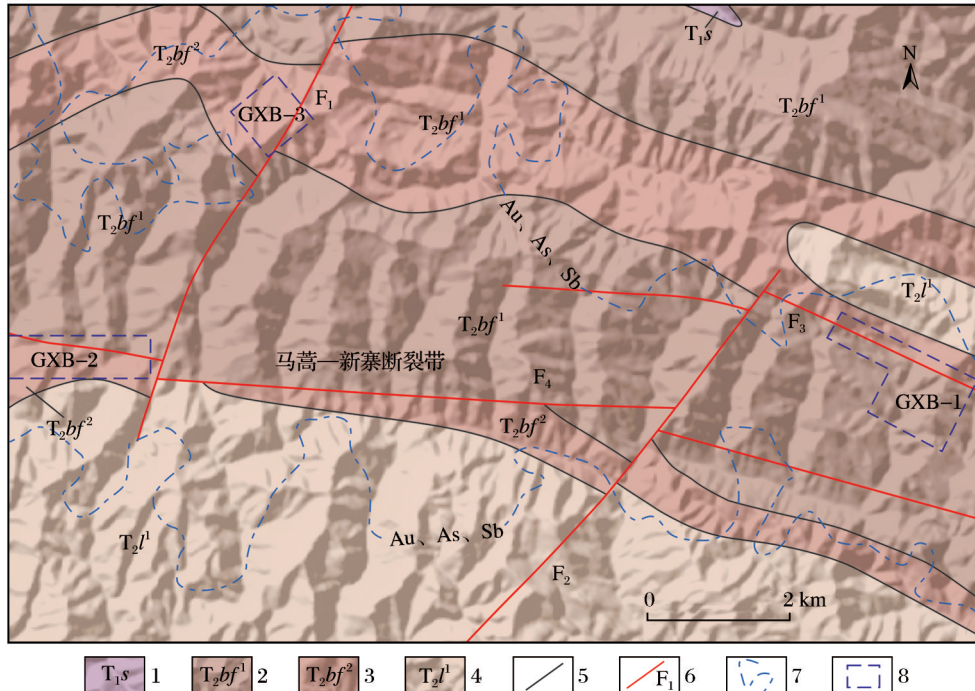
Fig. 1 Geological map of the Yunnan-Guizhou-Guangxi triangle region (modified after Su et al, 2018)

于河流沿岸及梯田区,土层深厚、肥力较高,是水稻和玉米等粮食作物种植区。植被类型以常绿阔叶林和针阔混交林为主,兼有经济林(杉树、油茶和八角)和人工林(砂糖橘和茶叶)。当地壮族、汉族和苗族居民以农林业为生,形成“水果(砂糖橘)+茶叶+经济林木”的多元化农业格局,规模化种植与特色林果相结合,推动农户增收与生态经济协同发展。

3 样品采集与测试分析

本研究对前期地质测量工作划定的3个重点研究区(GXB-1、GXB-2和GXB-3)进行了1:1万土壤剖面测量,以期查明重点研究区元素空间分布规

律和元素异常范围。本次土壤剖面测量基线方位分别为15°、0°和140°方向,采用200 m×20 m网度布设,采集对象为距地表20~50 cm深处土壤的B层(淋积层)或C层(母质层)的细粒级物质,以10 m范围内多坑法采样组合成单样,共采集801件土壤样。将所有样品晒干过80目筛后再粉磨至180目,送至广西壮族自治区地质矿产测试研究中心进行分析测试,定量分析项目有Au、Ag、As和Sb共4种元素。其中,Au元素测定使用泡沫塑料富集—电感耦合等离子体质谱法,Ag元素测定使用电感耦合等离子体质谱法,As和Sb元素测定使用氢化物发生—非色散原子荧光光谱法。分析精准度使用国家一级标准物质校验(GSS系列),每50个土壤样



1. 石炮组; 2. 百逢组第一段; 3. 百逢组第二段; 4. 兰木组第一段; 5. 地层界线; 6. 断层及编号; 7. Au、As、Sb综合异常带; 8. 重点研究区

图2 研究区地质图

Fig. 2 Geological map of the study area

与2件同类别土壤样标准物质一起进行分析,以免产生批次效应。经检验,样品分析准确度(RE)低于0.04,精密度的(RSD)低于8%,样品分析元素合格率大于90%。

4 元素地球化学特征

4.1 元素地球化学参数统计分析

针对GXB-1、GXB-2和GXB-3重点研究区采集的801件土壤样品,开展了Au、Ag、As和Sb元素含量测试,并对测试数据进行了多项地球化学参数计算,包括数据个数、最小值、最大值、平均值、标准离差、背景值、富集系数和变异系数,从而获得研究区元素分布特征(表1和图3)。变异系数和富集系数可作为反映元素在该区富集程度的重要指标,GXB-1、GXB-2和GXB-3重点研究区的Sb元素富集系数和变异系数远大于As、Au和Ag元素,Sb元素富集系数分别为34.91、16.59和50.21,Sb元素变异系数分别为5.88、2.68和5.61,反映出重点研究区Sb元素具有明显富集、元素迁移和分异显著等特征,富集成矿可能性大。GXB-3重点研究区Au元

素的平均值、富集系数和变异系数分别为 6.20×10^{-9} 、7.29和1.87,大于GXB-1和GXB-2重点研究区Au元素的相应参数,显示出GXB-3重点研究区Au元素成矿潜力较大。

4.2 元素相关性

相关分析是度量2个连续变量之间相关程度的统计分析方法,其中相关系数是用于度量2个变量之间线性相关程度和相关方向的指标。通过元素相关系数的大小,可以了解元素之间的关系亲疏程度,解释成矿元素之间的相互关系及其迁移富集规律。为此,对GXB-1、GXB-2和GXB-3重点研究区801件土壤样品测试得到的Au、Ag、As和Sb元素含量数据进行相关性分析(图4),结果如下:(1)GXB-1重点研究区Au、Ag、As和Sb元素之间的相关性较差,Au与As、Sb呈正相关关系(相关系数分别为0.31和0.29);(2)GXB-2重点研究区中Sb与As元素之间呈明显的正相关关系(相关系数为0.83),Sb与As元素具有一定的相关性;(3)GXB-3重点研究区中As与Au、Sb元素之间的相关性系数分别为0.57和0.69,呈现出明显的正相关性,反映

表1 研究区元素地球化学参数统计

Table 1 Statistics of element geochemical parameters in the study area

参数名称	GXB-1 重点研究区				GXB-2 重点研究区				GXB-3 重点研究区			
	Au	Ag	As	Sb	Au	Ag	As	Sb	Au	Ag	As	Sb
样品数	370	370	370	370	290	290	290	290	141	141	141	141
最小值	0.30	0.01	2.10	0.85	0.30	0.03	11.40	1.39	0.30	0.03	11.00	1.16
平均值	1.80	0.07	22.70	11.87	1.80	0.08	40.30	5.64	6.20	0.07	34.70	17.07
最大值	12.1	0.172	112	1287	13.7	0.223	548	252	85.7	0.213	283	979
标准离差	1.30	0.019	14	69.77	1.3	0.031	37.4	15.14	11.5	0.028	31.9	95.84
背景值	0.85	0.06	4.40	0.34	0.85	0.06	4.40	0.34	0.85	0.06	4.40	0.34
富集系数	2.12	1.15	5.16	34.91	2.12	1.32	9.16	16.59	7.29	1.18	7.89	50.21
变异系数	0.69	0.28	0.62	5.88	0.7	0.39	0.93	2.68	1.87	0.39	0.92	5.61

注: Au元素单位为 $\times 10^{-9}$; Ag、As和Sb元素单位为 $\times 10^{-6}$,背景值来源于中国东部裸露地壳丰度值(去碳酸盐)(迟清华等,2007),富集系数=平均值/背景值,变异系数=标准离差/平均值

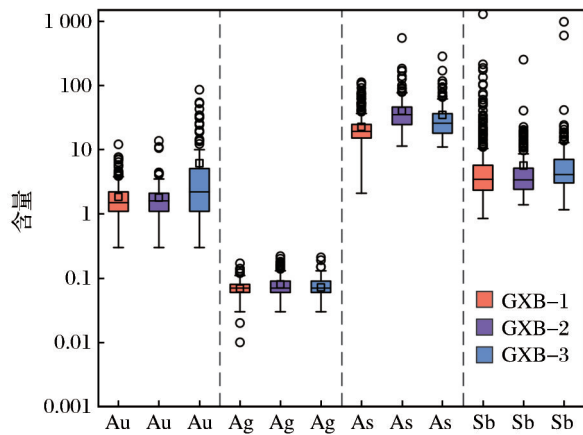


图3 研究区元素含量箱线图

Fig. 3 Box plot of element contents in the study area

注: Au元素含量单位为 $\lg(10^{-9})$,其他元素为 $\lg(10^{-6})$

出研究区主成矿元素 Au、Sb 与 As 元素关系密切; (4)GXB 研究区作为 3 个重点研究区整体统计结果,其主成矿元素 Au、Sb 与 As 元素关系密切,可作为研究区指示元素组合,即 Au-Sb-As 元素组合。

4.3 元素分布特征

对重点研究区 801 件样品的土壤地球化学测试数据(Au、Ag、As 和 Sb 元素)进行元素对数频率分布的统计分析,绘制出元素对数频数—含量分布直方图(图5)。由图5可知,Ag 和 As 元素分布型式相似,近似服从正态分布,呈单峰分布,峰值位于含量中值区,整体的分布型式均向两边倾斜,而且分布范围相对广,离散度较小,表明该组元素在次生富集成晕作用及过程中表现不强烈。Au 和 Sb 元素分布型式相似,该组元素含量的分布型式明显不服从正态分布,左侧呈单峰陡崖状上升,右侧呈单峰

缓坡状下降特征,峰值位于含量低值区,整体的分布型式均向左边低含量值区倾斜,而且分布范围广,离散度较大,为偏态分布,表明该元素可能参与了次生富集成晕作用及过程。

4.4 地球化学异常分析

研究区的异常下限使用公式 $T_a = \text{背景值} + 2 \times \text{标准差}$ 来确定,计算得出 Au、Ag、As 和 Sb 元素的异常下限分别为 3.02×10^{-9} 、 0.11×10^{-6} 、 51.3×10^{-6} 和 7.37×10^{-6} ,由于研究区中可能存在极端异常值干扰和数据分布不均匀等情况,通过调高异常下限能够更严格地筛选出与成矿作用密切相关的异常,因此 Au、Ag、As 和 Sb 元素的实际异常下限取值分别为 3.5×10^{-9} 、 0.12×10^{-6} 、 55×10^{-6} 和 20×10^{-6} ,以此来圈定异常区的内、中、外带(图6)。

GXB-1 重点研究区布设化探采样面积约为 1.28 km^2 ,化探采样剖面线 11 条,共采集 370 件土壤样品。Au、As 和 Ag 元素异常不明显,圈定出 3 个较大的 Sb 元素异常,均呈椭圆状分布,Sb-1 元素异常区具有 1 个浓集中心,最高值为 1287×10^{-6} ,因该区处于民采区锑矿,推断锑矿渣影响 Sb 元素异常,也有可能与构造相关;在同一条土壤剖面测量线的南端也存在 Sb-2 元素异常区,但没有浓集中心,最高值为 101×10^{-6} ;Sb-3 元素异常区,最高值为 174×10^{-6} ,推测民采锑矿渣引起 Sb 元素异常。

GXB-2 重点研究区布设化探采样面积约为 1.06 km^2 ,化探采样剖面线 10 条,共采集 290 件土壤样品。圈定出 1 个 As-1 元素异常区和 1 个 Sb-As 综合异常区,Au 和 Ag 元素异常不明显,As-1 元素

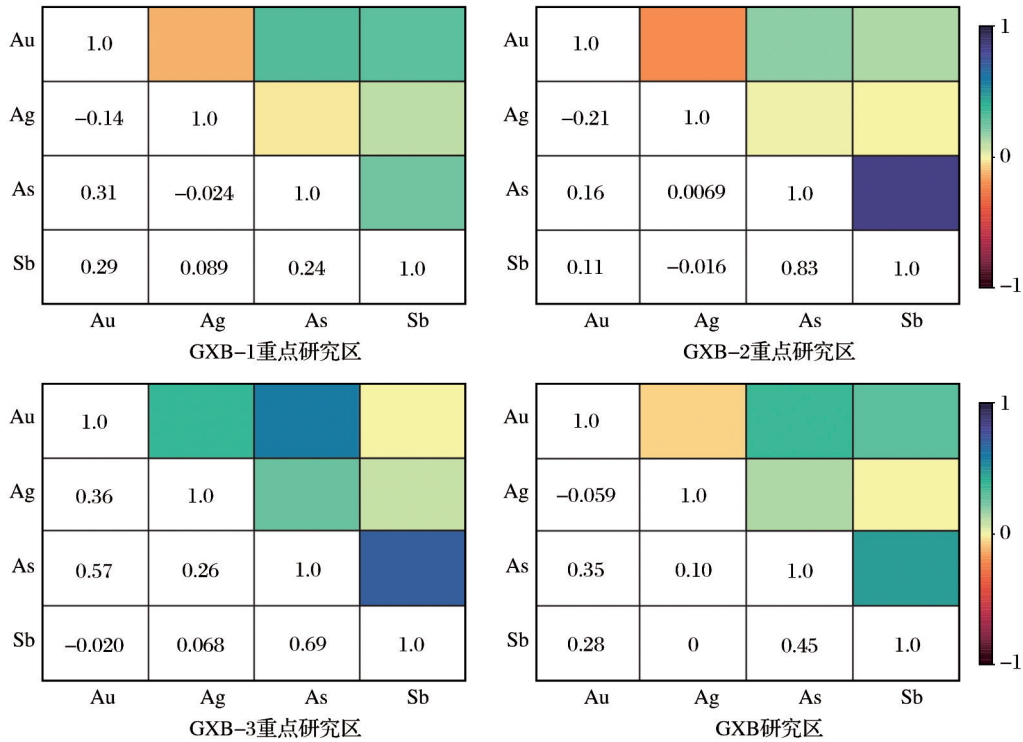


图4 研究区元素相关系数

Fig. 4 Correlation coefficients of elements in the study area

注:GXB研究区为3个重点研究区整体统计结果

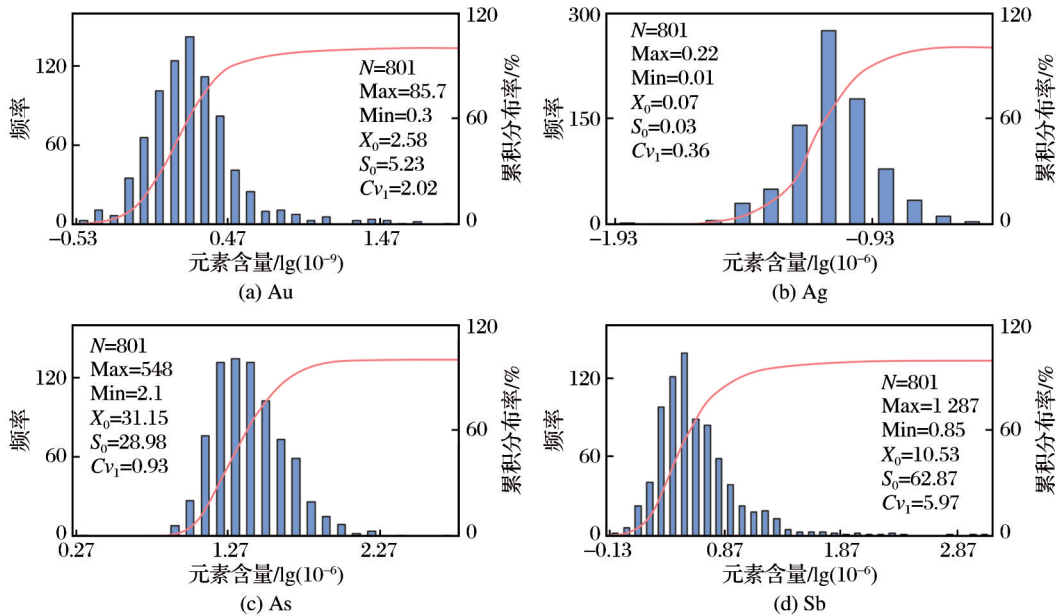


图5 不同元素分布型式对数直方图

Fig. 5 Logarithmic histograms of different elements distribution patterns

异常区呈长椭圆状,具有1个浓集中心,As最高值为 167×10^{-6} ;Sb-As综合异常呈椭圆状,具有1个浓集中心,Sb最高值为 252×10^{-6} ,As最高值为 $548 \times$

10^{-6} ,因该区处于民采区锑矿,推断锑矿渣影响Sb和As元素异常,也有可能与构造相关。

GXB-3重点研究区布设化探采样面积约为

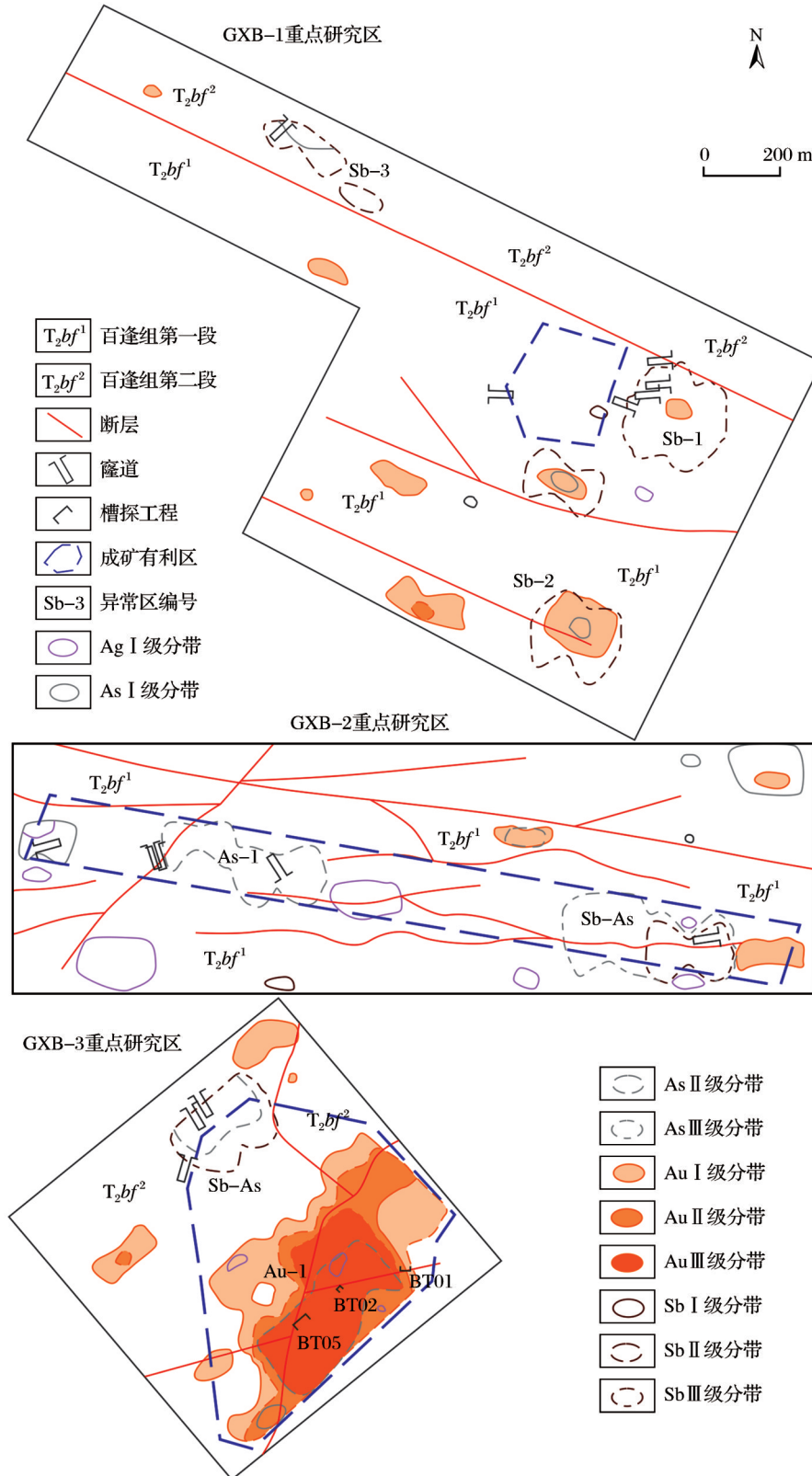


图6 重点研究区地球化学综合异常图

Fig. 6 Comprehensive geochemical anomaly maps of key study areas

1.06 km²,化探采样剖面线4条,共采集141件土壤样品。圈定出1个Au-1元素异常区和1个Sb-As综合异常区,Ag元素异常不明显。Au异常区呈椭圆状分布,异常区面积大、衬度高,基本横跨3条土壤剖面测量线,具有1个浓集中心,最高值为 85.7×10^{-9} ,推断为金矿化引起的异常,在后续BT01、BT02和BT05槽探工程得以验证,揭露出3条金矿化体,可作为金找矿靶区。Sb-As综合异常区呈椭圆状,具有1个浓集中心,Sb最高值为 979×10^{-6} ,As最高值为 283×10^{-6} ,推断是由锑矿化异常导致的。

结合探矿工程和化探异常结果,圈定西林县重点研究区找矿有利区(图6)。其中,GXB-1重点研究区化探异常以Sb元素为主,具有多个浓集中心,属于窿道内采掘的矿渣引起,因此圈定该区的找矿有利区位于多个窿道工程中,面积为0.068 km²,呈多边形,无明显的构造活动和蚀变现象。GXB-2重点研究区的As-1元素异常区和Sb-As综合异常区呈NW向长椭圆状,属于同一个方向上的线状,且分布着多个窿道工程,推测存在隐伏金、锑矿(化)体,因此圈定找矿有利区位于元素异常区和窿道工程中,面积为0.165 km²,呈长条状,找矿有利区内地层以百逢组第一段(T_2bf^1)为主,发育层间破碎,泥岩、粉砂岩和细砂岩等碎屑岩混杂,具有明显的硅化、褐铁矿化和黄铁矿化等围岩蚀变,且岩层倾向多变,发育有NE向主干断裂和多条NW向次级断裂,与区内主要的NW向含矿断裂相同,可为金、锑成矿提供成矿空间。GXB-3重点研究区分布有大面积的Au-1元素异常区和Sb-As综合异常区,异常规模大,元素异常套合好,且具有槽探工程控制金矿(化)体,因此圈定找矿有利区位于元素异常区、窿道工程和槽探工程中,面积为0.387 km²,呈多边形,找矿有利区内地层以百逢组第二段(T_2bf^2)为主,岩性以硅化泥岩和砂岩为主,岩石致密坚硬,发育有硅化、褐铁矿、黄铁矿和毒砂等围岩蚀变现象,断裂以NE向主干断裂为主,也是区内主要的含矿断裂。

5 异常查证

根据研究区地质特征和化探异常分布范围,本次工程验证采用槽探工程,共布设3个槽探工程:

BT01、BT02和BT05揭露GXB-3重点研究区的Au-1元素异常区,并通过刻槽采样分析测试,揭露出3条金矿化体(图7)。Au-①、Au-②和Au-③矿(化)体主要赋存于百逢组第二段(T_2bf^2),赋矿岩石为硅化的泥岩,围岩蚀变以硅化、黄铁矿化、褐铁矿化、绿泥石化和毒砂化为主,金矿化属于浅成低温热液型。Au-①矿化体由BT01工程控制,金品位为 0.23×10^{-6} ,矿化厚度为1 m,产状 $110^\circ \angle 70^\circ$,主要受NNE向次级断裂的控制,呈脉状产出。Au-②矿化体由BT02工程控制,金品位为 0.25×10^{-6} ,矿化厚度为0.80 m,产状 $10^\circ \angle 60^\circ$ 。该金矿(化)体受近EW向次级断裂的控制,呈脉状产出。Au-③矿(化)体主要由BT05工程控制,金品位为 0.20×10^{-6} ,矿化厚度为1.2 m,产状 $45^\circ \angle 70^\circ$ 。该金矿(化)体受NE向大断裂的控制,呈脉状产出。

6 成矿元素迁移、成矿模式及找矿方向

6.1 成矿元素迁移

Au元素在卡林型金矿床中赋存于毒砂($FeAsS$)和黄铁矿(FeS_2)等硫化物矿物中,以显微—超显微自然金包体、类质同象固溶体或胶体吸附态形式存在(王瑞廷等,2010)。由于受其地球化学惰性的影响,Au元素在表生氧化环境中难以形成高溶解性离子态(Au^+ 或 Au^{3+}),地球化学活性显著低于As和Sb元素,表生迁移能力较弱,通常以矿物碎屑迁移方式为主导。相较而言,As元素主要赋存于毒砂($FeAsS$)等硫化物矿物晶格,As可经氧化作用转化为高迁移性的可溶性砷酸盐(AsO_4^{3-})或亚砷酸盐(AsO_3^{3-}),显著增强其地球化学活性。As元素迁移能力明显受环境pH值调控,在黄壤区酸性环境条件下,溶解度提升,同时受铁锰氧化物表面吸附作用制约。Sb元素地球化学行为呈现过渡特征,其原生矿物以辉锑矿(Sb_2S_3)为主,在氧化条件下,Sb可被氧化为可溶性锑酸盐(SbO_3^- 或 SbO_4^{3-}),从而发生活化。Sb元素迁移能力中等,可随水流迁移,但其溶解度较低,且易被铁锰氧化物或黏土矿物吸附,迁移距离较短。

研究区特殊的地形地貌—气候—土壤耦合系统影响着Au元素的表生活化与迁移。在古特提斯构造域与滨太平洋构造域的复合作用背景下,研究

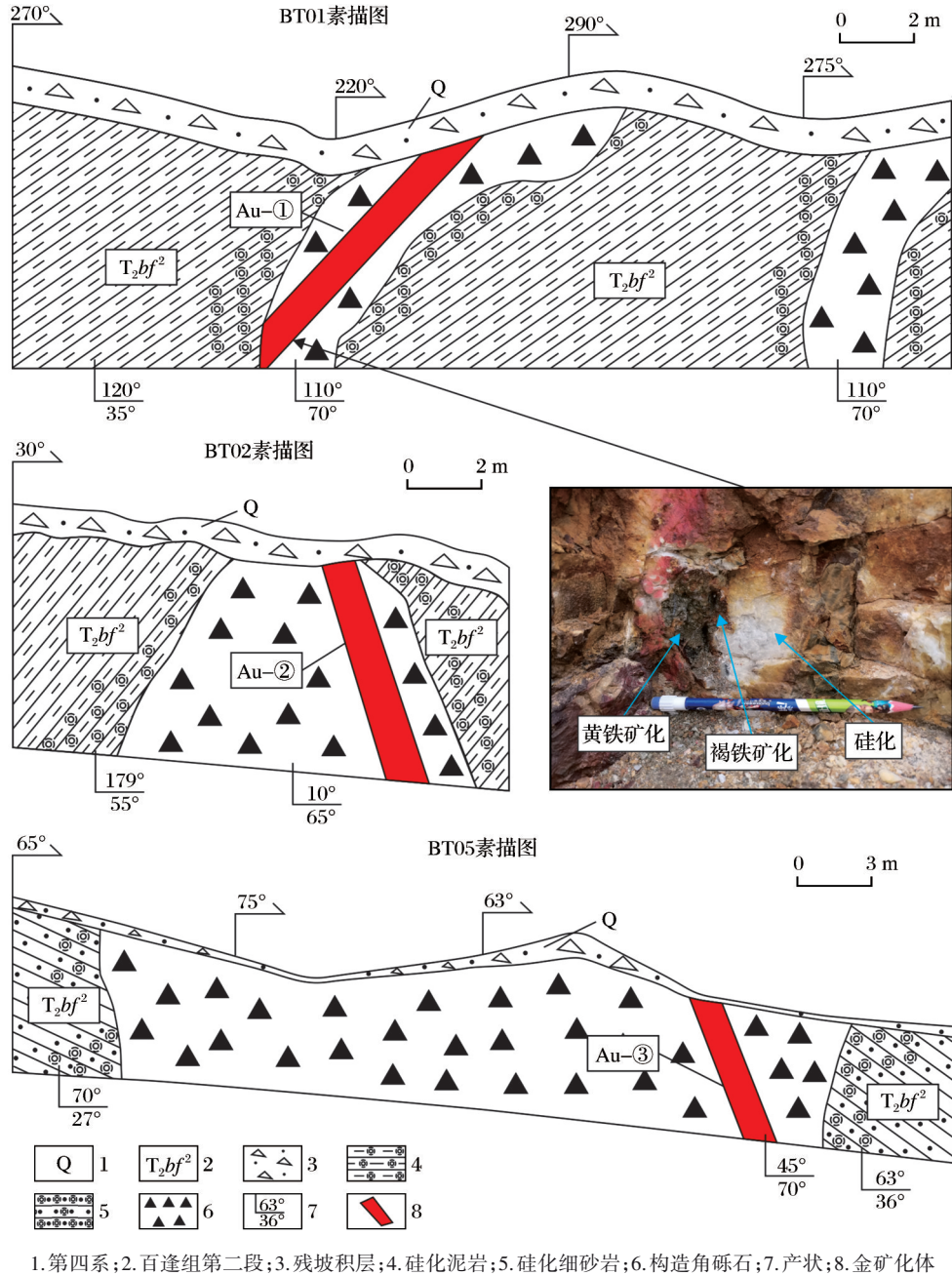


图7 研究区槽探工程

Fig. 7 Trench exploration project in the study area

区北高南低的地势与深切沟谷系统加速了基岩物理风化进程,促使含Au原生矿物在C层(母质层)形成残积碎屑堆积。同时,雨水充沛的条件持续驱动氧化性淋滤作用的进行,促进Au元素的表生活化与迁移。研究区分布有大面积黄壤区,其酸性环境虽抑制以Cl⁻络合物主导的Au溶解机制,但高有机质与腐殖酸显著增强有机配位活化能力,腐殖酸

通过与Au³⁺形成可溶性有机络合物,并借助铁氧化物胶体的吸附载体作用(Ran et al, 2002),实现Au元素在剖面的垂向迁移。值得注意的是,常绿阔叶林与针阔混交林复合生态系统能够通过分解枯落物为该区持续输入有机质,强化A层(腐殖层)中腐殖质胶体凝结与高岭石、伊利石等黏土矿物吸附,导致Au元素在表层土壤次生富集;而C层中基岩

风化残留体与磁铁矿、针铁矿、黄铁矿和褐铁矿等氧化物则通过界面吸附—沉淀作用形成深层富集单元(Wang et al, 2022),同时 Au 元素地球化学迁移能力较弱,迁移距离通常局限在矿体周边 50~200 m 范围内,导致 Au 元素在表生环境中呈现明显“近源富集”特征,这也是 C 层 Au 元素较 A 层显著富集的原因。

6.2 成矿模式及找矿方向

研究区所处的滇黔桂“金三角”地区的变质沉积基底岩石成岩年龄大于 500 Ma,很可能在三叠纪造山运动期间为成矿流体提供了大部分 Au 和 S 元素(Li et al, 2023a),同时通过梳理右江盆地卡林型金矿床的成矿年代学,发现盆地内发育 215~200 Ma 和 155~140 Ma 的 2 期卡林型金矿成矿作用(高伟等, 2024),至少存在 2 期大规模构造热成矿事件,影响金矿床的形成(Zheng et al, 2022)。右江盆地金矿主要载体矿物黄铁矿 S 同位素研究显示,泥堡、板其、丫他、高龙和金牙矿床的矿石阶段黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}$ 平均值分别为 -0.05% 、 $+4.04\%$ 、 $+7.02\%$ 、 $+11.51\%$ 和 -3.80% (Lin et al, 2021),矿床之间黄铁矿 $\delta^{34}\text{S}$ 值变化范围较宽,反映出硫源相对复杂,结合水银洞矿床的黄铁矿 Pb 同位素数据测试,显示 Pb 来自地壳和地幔来源的混合物,由此推断成矿热液为盆地和深源流体的混合物(Kang et al, 2024)。其形成过程如下:华南板块印支期碰撞后的陆内造山过程和燕山期软流圈上涌形成的含 Au 和 Sb 元素的初始成矿流体,在上升过程中与深部循环的大气降水或盆地流体混合,并与浅部地壳中的围岩发生反应形成金矿床。

区域上金锑矿床成因类型主要为卡林型,工业类型以蚀变岩型为主,因此研究区的金锑矿找矿工作主要围绕中三叠统百逢组的泥岩、粉砂岩和砂岩等碎屑岩赋矿地层岩性, NW 向次级断裂所形成的构造蚀变体(SBT),以及 Au、Sb 和 As 元素地球化学异常等方面展开。研究区处于 1:5 万化探 Au、As 和 Sb 综合异常带中,具有明显的金锑矿找矿前景,布设 1:1 万土壤剖面测量圈定的 Au、Ag、As 和 Sb 元素异常区效果明显,尤其是 GXB-3 重点研究区的 Au-1 元素异常区,并通过槽探工程揭露 3 条金矿化体,表明西林地区采用土壤地球化学方法寻找金锑矿具有明显效果。

7 结论

(1)研究区 Au、Sb 元素的浓集系数和变异系数值高,富集成矿可能性大,而 GXB-3 重点研究区具有金找矿潜力;Au、Sb 和 As 元素相关系数较强,其元素组合可作为研究区指示元素;Au 和 Sb 元素明显不服从正态分布,属于偏态分布,表明 Au 和 Sb 元素可能参与了次生富集成晕作用及过程。

(2)研究区共圈定 5 处单元元素异常,2 处综合元素异常。其中,Au-1 单元元素异常强度高、规模大,具有重要的金矿找矿意义,并通过 BT01、BT02 和 BT05 槽探工程验证,发现 3 条金矿化体,金矿化赋存于百逢组硅化碎屑岩与断裂接触带中, NW 向次级穿层断裂或层间破碎带控制着金矿化的展布,金品位分别为 0.23×10^{-6} 、 0.25×10^{-6} 和 0.20×10^{-6} ,说明将土壤地球化学方法应用于桂西北地区金矿勘查中切实可行,具有良好的找矿效果。

参考文献(References):

- Duan L, Meng Q R, Wu G L, et al, 2020. Nanpanjiang Basin: a window on the tectonic development of South China during Triassic assembly of the southeastern and eastern Asia [J]. *Gondwana Research*, 78: 189-209.
- Kang H B, Liu Y, Hu K, et al, 2024. Geochemical evidence of ore-forming processes in the Shuiyindong gold deposit of southwest Guizhou Province, China [J]. *ACS Omega*, 9 (38): 39365-39386.
- Li R C, Tan Q P, Wang X L, et al, 2023a. Ametasedimentary origin for gold deposits in the Dian-Qian-Gui “Golden Triangle” of Southwest China [J]. *Ore Geology Reviews*, 159: 105560.
- Li S T, Xu L Y, Wang Z P, et al, 2023b. Application of tectonogeochemistry method for weak information extraction of carlin-type gold deposits in Yunnan-Guizhou-Guangxi, SW China [J]. *Ore Geology Reviews*, 163: 105813.
- Lin S R, Hu K, Cao J, et al, 2021. An in situ sulfur isotopic investigation of the origin of carlin-type gold deposits in Youjiang Basin, southwest China [J]. *Ore Geology Reviews*, 134: 104187.
- Peters S G, Huang J Z, Li Z P, et al, 2007. Sedimentary rock-hosted Au deposits of the Dian-Qian-Gui area, Guizhou, and Yunnan Provinces, and Guangxi district, China [J]. *Ore Geology Reviews*, 31(1/2/3/4): 170-204.
- Pi Q H, Hu R Z, Xiong B, et al, 2017. In situ SIMS U-Pb dating

- of hydrothermal rutile: reliable age for the Zhesang carlin-type gold deposit in the golden triangle region, SW China [J]. *Mineralium Deposita*, 52(8): 1179-1190.
- Ran Y, Fu J M, Rate A W, et al, 2002. Adsorption of Au(I, III) complexes on Fe, Mn oxides and humic acid [J]. *Chemical Geology*, 185(1/2): 33-49.
- Su W C, Dong W D, Zhang X C, et al, 2018. Carlin-type gold deposits in the Dian-Qian-Gui "golden triangle" of southwest China [M]//Diversity in carlin-style gold deposits. Colorado: Society of Economic Geologists.
- Tan Q P, Xia Y, Xie Z J, et al, 2015. Migration paths and precipitation mechanisms of ore-forming fluids at the Shuiyindong carlin-type gold deposit, Guizhou, China [J]. *Ore Geology Reviews*, 69: 140-156.
- Wang H, Lan T G, Chen Y H, et al, 2022. Mobilization of Au and Ag during supergene processes in the Linglong gold deposit: evidence from SEM and LA-ICP-MS analyses of sulfides [J]. *Minerals*, 12(3): 367.
- Wang Q F, Yang L, Xu X J, et al, 2020. Multi-stage tectonics and metallogeny associated with Phanerozoic evolution of the South China Block: a holistic perspective from the Youjiang Basin [J]. *Earth-Science Reviews*, 211: 103405.
- Zheng L J, Tan Q P, Zuo Y J, et al, 2022. Two hydrothermal events associated with Au mineralization in the Youjiang Basin, southwestern China [J]. *Ore Geology Reviews*, 144: 104816.
- 迟清华, 鄢明才, 2007. 应用地球化学元素丰度数据手册 [M]. 北京: 地质出版社. Chi Qinghua, Yan Mingcai, 2007. Handbook of elemental abundance for applied geochemistry [M]. Beijing: Geological Publishing House.
- 邓军, 战明国, 周伟金, 等, 2023. 广西矿产资源分布规律与主要成矿区带潜力评价 [J]. *矿床地质*, 42(5): 1048-1073. Deng Jun, Zhan Mingguo, Zhou Weijin, et al, 2023. Distribution regularity of mineral resources and potential evaluation of main metallogenic belts in Guangxi [J]. *Mineral Deposits*, 42(5): 1048-1073.
- 高伟, 胡瑞忠, 李秋立, 等, 2024. 右江盆地卡林型金矿成矿年代学研究进展 [J]. *地学前缘*, 31(1): 267-283. Gao Wei, Hu Ruizhong, Li Qiuli, et al, 2024. Research advances on the geochronology of carlin-type gold deposits in the Youjiang Basin, southwestern China [J]. *Earth Science Frontiers*, 31(1): 267-283.
- 李欣航, 白令安, 胡乔帆, 等, 2023. 桂西北金牙金矿床成矿流体性质与成矿机制 [J]. *吉林大学学报(地球科学版)*, 53(3): 840-852. Li Xinhang, Bai Ling'an, Hu Qiaofan, et al, 2023. Metallogenic fluid properties and mineralization mechanism of Jinya gold deposit in northwest Guangxi [J]. *Journal of Jilin University (Earth Science Edition)*, 53(3): 840-852.
- 刘建中, 王泽鹏, 宋威方, 等, 2023. 滇黔桂地区卡林型金矿多层次构造滑脱成矿系统构建和找矿实践 [J]. *地质论评*, 69(2): 513-525. Liu Jianzhong, Wang Zepeng, Song Weifang, et al, 2023. Construction and prospecting practice of multilevel structural detachment metallogenic system of carlin-type gold deposits in Yunnan-Guizhou-Guangxi area [J]. *Geological Review*, 69(2): 513-525.
- 刘小虎, 王新宇, 肖昌浩, 等, 2024. 桂西隆林—西林锑金矿集区成矿控制因素探讨 [J]. *地质力学学报*, 30(3): 427-442. Liu Xiaohu, Wang Xinyu, Xiao Changhao, et al, 2024. Discussion on the ore-controlling factors in the Longlin-Xilin Sb-Au mining district of western Guangxi, South China [J]. *Journal of Geomechanics*, 30(3): 427-442.
- 刘寅, 胡凯, 韩善楚, 等, 2015. 右江盆地构造和演化及对卡林型金矿床的控制作用 [J]. *高校地质学报*, 21(1): 14. Liu Yin, Hu Kai, Han Shanchu, et al, 2015. Tectonics and evolution of Youjiang Basin and its control effect on carlin-type gold deposits [J]. *Geological Journal of Chinese Universities*, 21(1): 14.
- 刘永胜, 罗先熔, 曹佰迪, 等, 2023. 甘肃省礼县三峪地区土壤地球化学特征及找矿预测 [J]. *西北地质*, 56(6): 340-351. Liu Yongsheng, Luo Xianrong, Cao Baidi, et al, 2023. Soil geochemical characteristics and prospecting prediction in Sanyu area, Li County, Gansu Province [J]. *Northwestern Geology*, 56(6): 340-351.
- 罗先熔, 文美兰, 欧阳菲, 等, 2007. 勘查地球化学 [M]. 北京: 冶金工业出版社. Luo Xianrong, Wen Meilan, Ouyang Fei, et al, 2007. Exploration geochemistry [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press.
- 钱建平, 2011. 桂西北金矿成矿规律和若干问题 [J]. *矿物学报*, 31(增刊1): 825-827. Qian Jianping, 2011. Metallogenic regularity and some problems of gold deposits in northwest Guangxi [J]. *Acta Mineralogica Sinica*, 31(Suppl.1): 825-827.
- 王瑞廷, 韩俊民, 王涛, 等, 2010. Au 的表生地球化学特征及其在异常评价中的意义 [J]. *地质通报*, 29(9): 1329-1337. Wang Ruiting, Han Junmin, Wang Tao, et al, 2010. Supergene geochemical feature of gold and its implications for anomaly evaluation [J]. *Geological Bulletin of China*, 29(9): 1329-1337.
- 尹志刚, 姜然, 陈军典, 等, 2023. 黑龙江省木兰县六块地南

- 土壤地球化学异常特征及成矿预测[J].地质通报,42(12):2015-2027. Yin Zhigang, Jiang Ran, Chen Jundian, et al, 2023. Characteristics of soil geochemical anomalies and metallogenic prediction in Liukuaidi South of Mulan County, Heilongjiang Province[J]. Geological Bulletin of China, 42(12):2015-2027.
- 张宇,魏俊浩,石文杰,等,2022.藏南康马县布主金(锑)矿土壤地球化学异常信息提取及成矿预测[J].黄金科学技术,30(1):1-18. Zhang Yu, Wei Junhao, Shi Wenjie, et al, 2022. Soil geochemical anomaly information extraction and metallogenic prediction of the Buzhu gold (antimony) deposit in the Kangma County, South Tibet [J]. Gold Science and Technology, 30(1):1-18.
- 张长青,王登红,王永磊,等,2012.广西田林县高龙金矿成矿模式探讨[J].岩石学报,28(1):213-224. Zhang Changqing, Wang Denghong, Wang Yonglei, et al, 2012. Discuss on the metallogenic model for Gaolong gold deposit in Tianlin County, Guangxi, China [J]. Acta Petrologica Sinica, 28(1):213-224.
- 赵东杰,王学求,2020.右江盆地中三叠统细碎屑岩地球化学特征及其对物源区、构造背景的指示[J].大地构造与成矿学,44(2):311-324. Zhao Dongjie, Wang Xueqiu, 2020. Geochemical characteristics of the middle Triassic fine-grained clastic sedimentary rocks in Youjiang Basin and its implications for provenance and tectonic setting [J]. Geotectonica et Metallogenia, 44(2):311-324.

Soil Geochemical Prospecting of Gold Deposits in the Xilin Area, Guangxi

ZHANG Hongqiu^{1,2}, WEI Leping^{1,2}, LEI Shaoshuang^{1,2}, ZHAO Bibo^{1,2}, CHEN Zhenkun^{1,2}, HUANG Jiabin^{1,2}, TANG Linjie^{1,2}, LU Shaohua³

1.No.272 Geological Team of Guangxi Zhuang Autonomous Region, Nanning 530033, Guangxi, China;

2.Guangxi Nonferrous Metals Survey and Design Institute, Nanning 530033, Guangxi, China;

3.China Nonferrous Guilin Institute of Mineral Geology Co., Ltd., Guilin 541004, Guangxi, China

Abstract: The Xilin area in Guangxi is geologically positioned within the Xilin-Baise fault-fold belt of the Northwest Guangxi Depression on the Yangtze Plate, representing a vital segment of the Au-Sb polymetallic metallogenic belt in the western Guangxi-southwestern Guizhou-southeastern Yunnan region, also known as the Youjiang Basin. To explore the distribution characteristics of ore-forming elements and mineralized bodies, and to achieve advancements in mineral exploration, this study implemented a 1:10 000 scale soil geochemical survey and prospecting prediction. Through a systematic analysis of geochemical parameters, correlation coefficients, spatial distribution patterns, and single-element/composite anomalies using indicator elements (Au, Ag, As, Sb), three key anomalous zones (GXB-1, GXB-2, GXB-3) were identified for prioritized exploration. The key findings indicate that Au and Sb exhibit high concentration and variation coefficients, suggesting a strong metallogenic potential. Significant correlations have been identified among Au, Sb, and As, indicating their potential as indicator element associations. The skewed distribution patterns of Au and Sb suggest the presence of secondary enrichment processes. An integrated analysis of metallogenic characteristics and geochemical anomalies has led to the identification of five single-element anomalies and two composite anomalies. Trenching verification has revealed three auriferous mineralized zones. The gold mineralization predominantly occurs in silicified clastic rocks of the Baifeng Formation, specifically at structural contacts between NW-trending cross-layer fractures and interlayer fracture zones. These structural features have been established as key indicators for prospecting in future exploration endeavors.

Key words: soil geochemical survey; gold deposit; single-element anomaly; composite anomaly; prospecting target area; the Xilin area; Guangxi